

# 不同矿浆温度下滑石表面甲基纤维素脱附行为研究

欧阳燎原, 陈渊淦, 汪惠惠, 冯博

(稀有稀土资源开发与利用省部共建教育部协同创新中心, 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西理工大学江西省矿业工程重点实验室, 江西 赣州 341000)

**摘要:** 通过浮选试验及脱附试验, 研究不同矿浆温度下滑石表面上甲基纤维素脱附行为及其对滑石浮选的影响。结果表明, 滑石天然可浮性较好, 甲基纤维素对滑石具有一定的抑制作用, 其抑制效果随矿浆温度升高而增强, 水洗能够减弱甲基纤维素对滑石的抑制作用, 使滑石浮选回收率升高, 且低温水洗时滑石的浮选回收率增加更多。使用甲基纤维素能够实现黄铜矿和滑石的浮选分离。

**关键词:** 滑石; 抑制剂; 甲基纤维素; 脱附; 矿浆温度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.02.012

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)02-0066-03

滑石常作为脉石矿物存在于钨矿和硫化铜镍矿等矿石中<sup>[1]</sup>。滑石表面疏水性强, 容易随硫化矿物进入精矿中, 影响精矿品位。同时滑石质软, 容易泥化, 微细粒滑石会干扰硫化矿物的浮选<sup>[2-3]</sup>。为了降低滑石对硫化矿物浮选的负面影响, 可以在硫化矿物浮选前预先脱除部分微细粒滑石<sup>[4]</sup>, 但部分硫化矿物也会随滑石上浮, 影响精矿回收率。同时剩余的滑石仍需要加入抑制剂进行抑制。因此, 要实现硫化矿物与滑石的分选, 必须使用高效抑制剂。常用的抑制剂有淀粉、瓜尔豆胶和羧甲基纤维素等<sup>[5-6]</sup>。

甲基纤维素是一种长链取代纤维素, 平均分子量为 1 万~22 万, 为白色粉末或纤维状物, 无毒、无刺激性、无过敏作用, 在水中能够溶胀, 水温降低后迅速溶解<sup>[7]</sup>。溶解后的甲基纤维素在水中的存在形式受温度影响, 温度升高时甲基纤维素能够产生凝胶, 随温度的降低凝胶会重新溶解<sup>[8]</sup>。甲基纤维素广泛用于建筑业、化妆品、医药和食品工业中, 但关于其在矿物浮选工业中的应用研究较少<sup>[9]</sup>。

本文研究了不同温度下滑石表面甲基纤维素

脱附行为及对滑石浮选的影响, 并考察甲基纤维素在黄铜矿-滑石混合矿分离中的效果, 为促进滑石的抑制提供理论基础。

## 1 实验方法

### 1.1 样品与试剂

滑石样品取自辽宁某滑石矿山, 黄铜矿取自青海某铜矿山。从取得的样品中挑选纯度较高的矿块, 人工锤碎后进一步将杂质挑出以降低杂质含量。将挑选得到的样品用瓷球磨磨细, 筛分得到各个粒度级别的样品备用。X 衍射分析结果及化学分析表明所得的黄铜矿及滑石样品中杂质含量较低, 符合实验要求。

实验所用起泡剂 MIBC 和甲基纤维素等药剂均为分析纯。

### 1.2 浮选实验

浮选实验使用挂槽浮选机, 试验过程中使用水浴锅加热以控制浮选矿浆的温度。每次试验称取 2 g 滑石和 40 mL 蒸馏水在浮选槽中搅拌混匀。加入 pH 值调整剂调节矿浆的 pH 值, 按照试验要

收稿日期: 2020-05-09; 改回日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(52174248); 江西省自然科学基金(20202ACBL214010); 江西省双千计划(jxsq2019201115); 江西省青年井冈学者奖励计划资助项目

作者简介: 欧阳燎原(2000-), 男, 本科生。

通信作者: 冯博(1986-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事矿物加工理论与工艺等方面的研究, E-mail: fengbo319@163.com。

求加入抑制剂和起泡剂并分别搅拌一定时间，测量矿浆 pH 值并记录，然后开始浮选，浮选时间为 3 min。

### 1.3 吸附量实验

将 1 g 滑石放入烧杯中，加入蒸馏水并加热到要求的温度后加入甲基纤维素并搅拌均匀，用滤纸过滤获得清液，将清液放入总有机碳分析仪的测试管中测量清液中的总有机碳含量，换算得到甲基纤维素含量，根据加入的药剂剂量即可计算吸附量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 甲基纤维素对滑石的抑制作用

图 1 是有无甲基纤维素时滑石浮选回收率与 pH 值关系。由图 1 可知，滑石表面疏水，仅加入起泡剂 MIBC 就能上浮。甲基纤维素能降低滑石的浮选回收率，且其抑制效果不受 pH 值的影响。加入甲基纤维素后，滑石的浮选回收率在实验所研究的 pH 值范围内均降低。

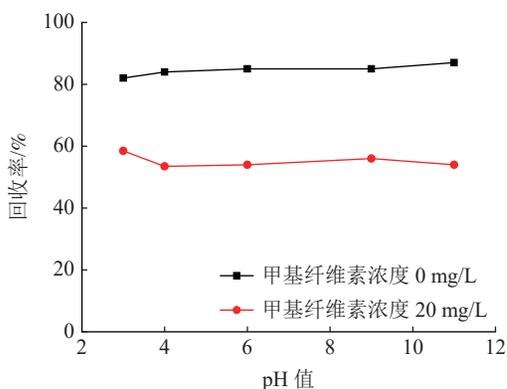


图 1 滑石浮选回收率与 pH 值关系  
Fig.1 Relationship between talc flotation recovery and pH (MIBC=1×10<sup>-4</sup> mol/L)

研究了温度对甲基纤维素抑制效果的影响，结果见图 2。在不添加甲基纤维素时，随温度升高，滑石浮选回收率变化不大。而在添加甲基纤维素后，随温度升高，甲基纤维素的抑制效果逐渐增强，滑石浮选回收率降低，但当温度超过 55℃ 时，浮选过程中泡沫增多，由于泡沫夹带导致滑石的浮选回收率增加。

图 3 是不同温度下甲基纤维素用量对滑石浮选的影响。由图 3 可知，甲基纤维素对滑石具有较好的抑制效果，在实验所研究的两种温度条件下，随甲基纤维素用量增加，滑石的浮选回收率逐渐降低。当甲基纤维素用量过高时，产生的泡沫较多，由于泡沫夹带作用导致滑石的浮选回收率增加。

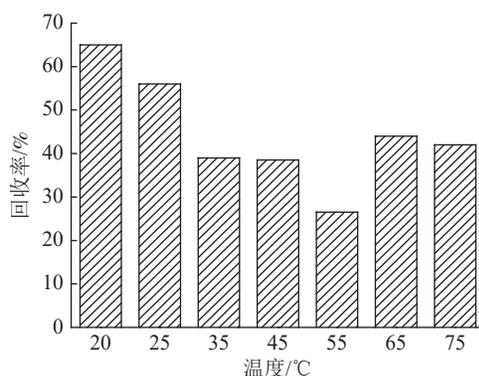


图 2 不同温度下甲基纤维素对滑石浮选的影响 (MIBC=1×10<sup>-4</sup> mol/L, pH=7)

Fig.2 Effect on temperature on talc flotation with methylcellulose

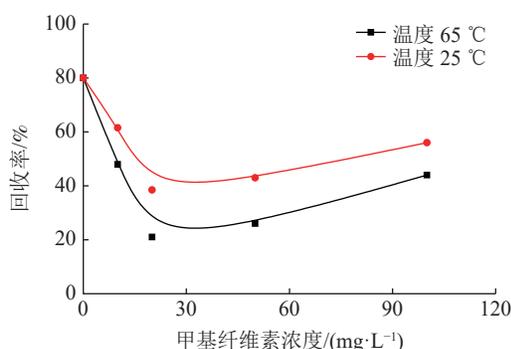


图 3 不同温度下甲基纤维素用量对滑石浮选的影响 (MIBC=1×10<sup>-4</sup> mol/L, pH=7)

Fig.3 Effect on methylcellulose dosage on talc flotation at different temperature

### 2.2 滑石表面上的甲基纤维素脱附对其浮选的影响

研究了两种初始吸附温度 (25℃ 和 65℃) 时，用不同温度水清洗滑石对其浮选回收率的影响，结果见图 4。由图 4 可知，25℃ 下加入 20 mg/L 的甲基纤维素，滑石受到抑制，其浮选回收率降低到 38.5%。对于 25℃ 下吸附了甲基纤维素的滑

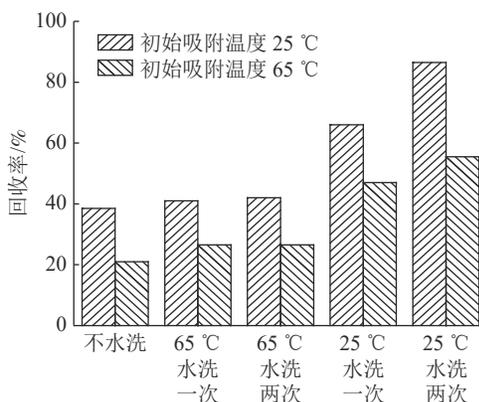


图 4 不同温度下水洗对甲基纤维素抑制效果的影响 (MIBC=1×10<sup>-4</sup> mol/L, pH=7)

Fig.4 Effect on washing times on talc flotation recovery

石, 再用 65℃ 水清洗后, 滑石浮选回收率变化不大, 而用 25℃ 的水清洗后, 滑石浮选回收率增高; 65℃ 下加入甲基纤维素后, 滑石浮选回收率降低到 21%。对于 65℃ 下吸附了甲基纤维素的滑石, 再用 25℃ 水清洗后, 滑石浮选回收率升高, 而用 65℃ 水清洗后, 滑石浮选回收率变化不大。

### 2.3 水清洗对滑石表面上的甲基纤维素脱附的影响

研究了不同条件下滑石表面上甲基纤维素的脱附行为, 结果见图 5。由图 5 结果可知, 在两种初始吸附温度 (25℃ 和 65℃) 下, 经过水洗后, 滑石表面上甲基纤维素剩余量均会降低, 经 25℃ 水洗后甲基纤维素脱附更多。

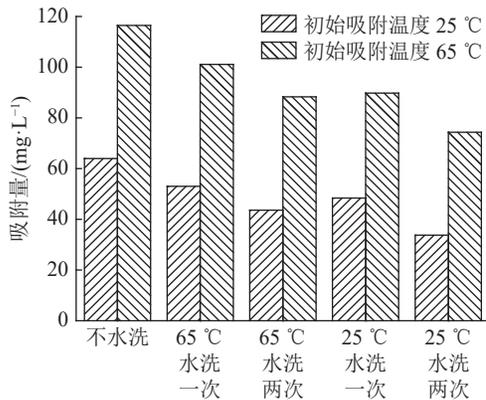


图 5 不同条件下甲基纤维素的解吸行为  
Fig.5 Desorption behavior of methylcellulose at different conditions

### 2.4 黄铜矿-滑石混合矿浮选结果

在滑石单矿物浮选基础上, 研究了 25℃ 时 100 mg/L 甲基纤维素添加对黄铜矿-滑石混合矿浮选分离的影响, 实验结果见表 1。由表 1 可知, 添加甲基纤维素后能获得铜品位为 24.08%、回收率为 74.68% 的铜精矿。

表 1 甲基纤维素对黄铜矿-滑石混合矿浮选分离的影响  
Table 1 Effect on methylcellulose on flotation separation of chalcopyrite-talc mixed ore

产品名称	产率/%	Cu品位/%	Cu回收率/%
原矿	47.10	24.08	74.68
尾矿	52.90	7.27	25.32
原矿	100.00	15.19	100.00

## 3 结论

滑石表面天然疏水性较好, 仅加入起泡剂就能上浮。甲基纤维素能有效抑制滑石浮选, 且其抑制作用与矿浆温度有关, 温度越高, 抑制效果

越强。滑石表面上吸附的甲基纤维素在水洗时会从滑石表面脱附, 导致滑石的浮选回收率升高。在低温条件下水洗时甲基纤维素更容易从滑石表面上脱附, 滑石的浮选回收率更高。使用甲基纤维素能够实现黄铜矿-滑石混合矿的浮选分离。

### 参考文献:

[1] 赵玉卿, 黄秉雄, 刘磊, 等. 蛇纹石、绿泥石、滑石的可浮性及抑制方法综述 [J]. 矿产综合利用, 2018(2): 7-11.  
ZHAO Y Q, HUANG B X, LIU L, et al. Review of floatability and inhibition methods of serpentine, chlorite and talc[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018 (2): 7-11.

[2] 龙涛, 冯其明, 卢毅屏, 等. 羧甲基纤维素对层状镁硅酸盐矿物浮选抑制与分散作用 [J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(5):1145-1150.  
LONG T, FENG Q M, LU Y P, et al. Inhibition and dispersion of layered magnesium silicate minerals by carboxymethyl cellulose[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(5):1145-1150.

[3] Steenberg E, Harris PJ. Adsorption of carboxymethyl cellulose, guar gum and starch onto talc, sulphides, oxides and salt-type minerals. South African journal of chemistry, 1984, 37: 85-90.

[4] 刘谷山, 冯其明, 张国范. 某铜镍硫化矿浮选脱除滑石的研究 [J]. 金属矿山, 2005(9):35-37.  
LIU G S, FENG Q M, ZHANG G F. Study on flotation removal of talc from a copper-nickel sulfide ore[J]. Metal Mine, 2005(9):35-37.

[5] Khraisheh M, Holland C, Creany C, Harris P, Parolis L. Effect of molecular weight and concentration on the adsorption of CMC onto talc at different ionic strengths. International Journal of Mineral Processing, 2005, 75: 197-206.

[6] 欧乐明, 齐超. 非极性表面矿物滑石与辉钼矿浮选分离中的多糖抑制 [J]. 金属矿山, 2015, 44(5):5-89.  
OU L M, QI C. Polysaccharide inhibition in flotation separation of non-polar surface mineral talc and molybdenite[J]. METAL MINE, 2015, 44(5):5-89.

[7] Zhang Y, Gao C, Li X, et al. Thermosensitive methylcellulose-based injectable hydrogels for post-operation anti-adhesion[J]. Carbohydrate polymers, 2014, 101:171-178.

[8] Lin S Y, Wang S L, Wei Y S, et al. Temperature effect on water desorption from methylcellulose films studied by thermal FT-IR microspectroscopy[J]. Surface science, 2007, 601(3):781-785.

[9] 冯博, 朱贤文, 彭金秀. 甲基纤维素的应激反应及其对滑石浮选的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(5): 1031-1036.  
FENG B, ZHU X W, PENG J X. Stress reaction of methyl cellulose and its effect on talc flotation. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(5): 1031-1036.

(下转第 78 页)